

Великих К.А., Перерва П.Г.

## ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РЕМОНТНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ НУЖД ГОРОДСКОГО ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА

*Рассмотрены актуальные проблемы формирования потребности в электротехнических изделиях на ремонтно-эксплуатационные нужды трамваев и троллейбусов. Предложен алгоритм решения поставленной задачи с использованием методов теории надежности. Доказан экспоненциальный характер потока отказов электроизделий, обеспечивающих автоматизацию работы городского электротранспорта.*

*Actual problems of formation of need for electrotechnical products for various needs for trams and trolley buses are considered. The algorithm of the decision of a task in view with use of methods the analysis of consumers is offered. Allocation of the most typical segments of the market with the instruction of a conducting link of a segment which basically and forms need for electrotechnical products is offered.*

Потребность в электротехнических изделиях на ремонтно-эксплуатационные нужды трамвайно-троллейбусных парков определяется в основном путем сбора заявок потребителей, достоверность которых в лучшем случае зависит от опыта и интуиции лиц, их составляющих. При этом зачастую исходят из потребности отдельных депо за прошлый год, не учитывая изменение парка электротехнических изделий, условий его эксплуатации и надежности по выполнению своих функций. В существующих условиях, когда действующий трамвайно-троллейбусный парк практически не увеличивается из-за острой нехватки финансовых ресурсов, условия эксплуатации с учетом погодных и климатических зон отдельных городов страны также практически неизменны, на первый план выходят показатели надежности изделий, которые в основном и определяют количественные характеристики потребности в электротехнических изделиях. Расчет показателей надежности производится по методикам, которые используются в технике, в частности, применительно к автомобильному и железнодорожному транспорту [3, 4, 7], а также при исследовании показателей надежности электротехнических средств автоматизации [1, 2, 8].

Для повышения точности расчетов потребности необходимо знать законы распределения случайных величин, наработку на отказ, вероятность безотказной работы и т.п. Для условий эксплуатации технических объектов наиболее часто встречаются следующие законы распределения: нормальный, закон распределения Вейбулла-Гнеденко, логарифмический нормальный и экспоненциальный. Функция надежности  $F(t)$  в наиболее общей форме, приемлемой для всех возможных видов распределения отказов [1, 8] имеет следующий вид:

$$F(t) = \exp \left[ - \int_0^t \lambda dt \right], \quad (1)$$

где  $\lambda$  - интенсивность отказов, 1/ч;  $t$  – время работы, ч.

Нормальный закон распределения случайных величин формируется тогда, когда на ход исследуемого процесса и его результаты влияет относительно большое количество независимых или слабозависимых элементарных факторов, каждый из которых отдельно оказывает незначительное влияние в сравнении с суммарным влиянием всех других. Данный закон достаточно часто используется для описания потока износных отказов, формирующихся под влиянием усталостных напряжений и физического старения отдельных элементов системы.

Закон распределения Вейбулла-Гнеденко характерен для описания отказов “слабого звена” исследуемой системы. Если система состоит из группы независимых элементов, отказ или неисправность любого из них ведет к отказу всей системы в целом. В этом случае вероятность безотказной работы всей системы определяется граничным распределением для крайних членов последовательности взаимонезависимых величин. Этим законом, например, описывается ресурс подшипников качения, ограничиваясь при этом исследованием показателей надежности одного из наиболее “слабых” в эксплуатационном плане элементов (например, шарик или ролик, сепаратор, кольцо и т.п.).

Логарифмический нормальный закон распределения может встречаться, если на ход исследуемого процесса и его результаты влияет относительно большое количество случайных и взаимонезависимых показателей, интенсивность действия которых зависит от достигнутого случайной величиной положения. Этот закон используется при описании процессов усталостных разрушений, коррозий, наработки до ослабления предварительной затяжки крепежных соединений и т.п.

Экспоненциальный закон распределения является однопараметрическим, что существенно упрощает проведение расчетов. При этом законе распределения вероятность безотказной работы не зависит от того, сколько времени исследуемый объект проработал с начала эксплуатации, а определяется конкретной длительностью рассматриваемого периода времени или количеством выработанного ресурса (пробега, моторесурса). В этой связи рассматриваемый закон не учитывает постепенного изменения показателей технического состояния, например, в результате физического износа, старения и т.п.

В целом ряде научных исследований [1, 2, 4, 7, 8] на основании длительных наблюдений и обработки большого объема исходной статистической информации о надежности электротехнических изделий и их составных частей в условиях эксплуатации доказывалось, что интенсивность отказов данных изделий, равно как и параметр потока

отказов ремонтируемых электротехнических изделий, есть величина постоянная, что соответствует экспоненциальному закону распределения отказов. В этом случае формула надежности (1) принимает следующий вид:

$$F(t) = e^{-\lambda t}. \quad (2)$$

Работа технической системы будет точно описываться экспоненциальным законом в том случае, если отказы возникают случайно, т.е. из-за внезапных и неподдающихся предсказанию различных накапливающих воздействий, вызванных концентрацией внешних и внутренних напряжений, превышающих расчетные. Условием возникновения только внезапных отказов является то, что во время работы системы по мере возможности должны устраняться износостойкие отказы путем профилактического обслуживания и замены элементов до окончания периода их плановой эксплуатации.

На наш взгляд, долговечность электротехнических средств автоматизации городского электротранспорта и их элементов, нормируемая заводами-изготовителями, в основном является достаточной для того, чтобы при воздействии только механического и электрического износа в условиях, соответствующих данному типу электроизделия, обеспечить его безотказную работу в течении всего времени эксплуатации трамваев и троллейбусов (исходя из нормативных сроков службы).

Из теории надежности [1, 2, 8] известно, что для простейшего потока отказов (что соответствует экспоненциальному закону распределения) вероятность  $P$  поступления в промежуток времени  $t$  равно  $Z$  требований на отказавшие элементы и определяется по закону Пуассона:

$$P = \frac{(\lambda_i N_i t)^Z}{Z!} e^{-\lambda_i N_i t},$$

где  $\lambda_i$  – интенсивность отказов  $i$ -го элемента электротехнического изделия, 1/ч;  $N_i$  – исследуемый парк  $i$ -го элемента электротехнического изделия, шт.

Парк электротехнических изделий  $N_i$ , находящихся в эксплуатации отдельного трамвайно-троллейбусного депо может быть определен с использованием наличного парка трамваев и троллейбусов в данном городе или регионе и коэффициентов применяемости  $i$ -го электроизделия в расчете на один трамвай или троллейбус. Все изменения парка электроизделий в близкой или дальней перспективе, на наш взгляд, следует связывать, во-первых, с изменением уровня автоматизации работы городского электротранспорта, и, во-вторых, с изменением количественных характеристик трамвайно-троллейбусного парка.

Расчет потребности в электротехнических изделиях на ремонтно-эксплуатационные нужды трамвайно-троллейбусного парка производится без учета параметра восстановления. Считаем, что восстановление всегда имеет место. При этом вероятность того, что система выполнит свои

функции за время  $t$  при наличии  $Z$  запасных элементов, рассчитывается следующим образом [1, 2, 8]:

$$P = e^{-\lambda_i N_i t} \sum_{m=0}^Z \frac{(\lambda_i N_i t)^m}{m!}, \quad (4)$$

Если задаться фиксированным значением потребности  $Z = Z_p$ , то в этом случае вероятность  $P = P_p$  можно рассматривать в качестве критерия, гарантирующего  $P_p$  вероятность того, что система выполнит свои функции, т.е. вероятность безотказной работы электротехнических средств автоматизации трамваев и троллейбусов. Указанная величина может быть использована для определения гарантированной (с достоверностью  $P_p$ ) потребности в электротехнических изделиях для ремонтно-эксплуатационных нужд городского электротранспорта, необходимых для обеспечения работоспособности всего парка электроизделий в течение времени  $t$ .

Среднее значение потребности  $\bar{Z}$  за время эксплуатации  $t$  определяется как математическое ожидание величины  $Z$ :

$$\begin{aligned} \bar{Z} &= M[Z] = \sum_{Z=1}^{\infty} ZP = \sum_{Z=1}^{\infty} Z \frac{(\lambda_i N_i t)^Z}{Z!} e^{-\lambda_i N_i t} = \\ &= \lambda_i N_i t e^{-\lambda_i N_i t} \sum_{Z=1}^{\infty} \frac{(\lambda_i N_i t)^{Z-1}}{(Z-1)!} = \lambda_i N_i t e^{-\lambda_i N_i t} e^{\lambda_i N_i t} = \lambda_i N_i t. \end{aligned} \quad (5)$$

В силу того, что отказы электротехнических изделий возникают случайно, истинное значение  $Z$  может быть или больше или меньше  $\bar{Z}$ . В этой связи, гарантированная вероятность того, что за время  $t$  израсходуется не более  $\bar{Z}$  изделий, равно лишь 50 %, что при практических расчетах может быть недостаточным. В этой связи предлагается использовать выражение, дающее однозначную зависимость между  $P_p$  и  $Z$ , которую можно получить путем математических преобразований зависимостей (4) и (5):

$$P_p = e^{-\bar{Z}} \sum_{m=0}^Z \frac{(\bar{Z})^m}{m!}. \quad (6)$$

Уравнение (6) представляет собой основное соотношение для определения  $Z_p$  по заданному значению  $P_p$  и известному  $\bar{Z}$ .

Для более обоснованного планирования  $Z_p$  предлагается использовать в расчетах коэффициент запаса  $K_z$ , который представляет собой отношение планируемой потребности  $Z_p$  к ее среднему значению  $\bar{Z}$ . Коэффициент запаса определяется по (6) в зависимости от заданной вероятности  $P_p$ . Для достаточно больших значений потребности в электроизделиях на ремонт и эксплуатацию ( $Z > 15$ ), что несомненно соответствует поставленной задаче по большинству номенклатурных

позиций исследуемых изделий, коэффициент запаса можно определить, используя более удобную для расчетов формулу [1, 2, 8]:

$$P = F\left(\frac{Z_i + 0,5 - \bar{Z}}{\bar{Z}}\right) = F(x), \quad (7)$$

Где  $F(x)$  - табулированная функция Лапласа. В этом случае коэффициент запаса

$$K_z = \frac{\bar{Z} + x\sqrt{\bar{Z}} - 0,5}{\bar{Z}}. \quad (8)$$

При выборе значения гарантийной вероятности  $P_p$  следует руководствоваться экономическими показателями. Значение  $P_p$ , приемлемое для расчетов текущей потребности по различным видам городского электротранспорта, колеблется в определенных пределах. Для трамваев – как правило в пределах  $0,8 \div 0,9$ , для троллейбусов  $0,75 \div 0,85$ , для вагонов метрополитена -  $0,9 \div 0,95$ .

Практика обеспечения ремонтно-эксплуатационных нужд трамвайно-троллейбусных управлений различных городов показывает, что широкому применению изложенных положений мешают некоторая произвольность и недостаточная обоснованность выбора гарантийной вероятности при расчетах текущей потребности. В определенной мере снизить отрицательное воздействие указанного недостатка можно более строгим экономическим обоснованием  $P_p$  путем определения коэффициента риска [1, с.166], выражающего вероятность того, что значение  $Z_p$  окажется недостаточным для покрытия потребности в электротехнических изделиях для ремонтно-эксплуатационных нужд исследуемого оборудования. Вероятность противоположного события, т.е. вероятность достаточности  $Z_p$  на данные нужды, совместно с вероятностью недостаточности (коэффициентом риска) представляют собой полную группу несовместных событий. В этом случае, как утверждают положения теории вероятности и математической статистики, алгебраическая сумма  $P_p$  и коэффициента риска равна единице. Данное положение может быть использовано для более обоснованного определения значения гарантийной вероятности  $P_p$ .

#### Список литературы

1. Перерва П.Г. Анализ финансового состояния предприятия / П.Г.Перерва, О.Н.Савенкова // Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ" : зб. наук. пр. Темат. вип. : Технічний прогрес та ефективність виробництва. – Харків : НТУ "ХПІ", 2002. – № 11-2. – С. 118-121.
2. Перерва П.Г. Исследование рынка промышленной продукции / П.Г.Перерва.- М.: НПО «Реклама, информация, маркетинг», 1991.- 96 с.
3. Яковлев А.И. Организация и управление электротехнической промышленностью: Сб.задач, лаб.работ, деловых игр / А.И.Яковлев, Т.И.Задедрихина,

П.Г.Перерва // Учебное пособие для электротехн. спец. инж.- техн. вузов.- Харьков : Изд-во «Основа», 1990.- 141с.

4. Перерва П.Г. Маркетинг инновационного процесса / П.Г.Перерва, Н.П.Гочарова, А.И.Яковлев и др. // Учебное пособие - К.: ВИРА-Р, 1998.- 267с

5. Гончарова Н.П. Новые технологические системы: качество, потребность, эффективность / Н.П.Гончарова, П.Г.Перерва, А.И.Яковлев // - К.: Наукова думка, 1989.- 176с.

6. Перерва П.Г. Маркетинг на промышленном предприятии.- М.: НПО «Реклама, информация, маркетинг», 1991.- 80 с.

7. Перерва П.Г. Основы маркетинга высоких технологий: Учебное пособие / П.Г.Перерва, А.И.Грабченко, Р.Ф.Смоловик.- Харьков : ХГПУ, 1999.- 242с. 25

8. Перерва П.Г. Потребность в электротехнических средствах автоматизации. Теория и методы определения [Текст] : [монография] / П. Г. Перерва. - Х. : Основа, 1991. - 114 с. : табл., рис. - Библиогр.: с. 138-142.

9. Яковлев А.И. Экономика электротехнической промышленности / А.И.Яковлев, Т.И.Задедрихина, П.Г.Перерва // Учебное пособие для электротехн. спец. инж.- техн. вузов.- Харьков : Выща шк. Изд-во при ХГУ, 1990.- 136с.

10. Перерва П. Г. Маркетинг машиностроительной продукции : учеб. пособие / П.Г.Перерва, Н.И.Погорелов. – Киев : ИСМО, 1997. – 177 с.

11. Перерва П.Г. Практический маркетинг / П.Г.Перерва.- Выпуск 1. Термины и определения / Справочник менеджера промышленного предприятия.- М.: НПО «Реклама, информация, маркетинг», 1991.- 96 с.

12. Економіка і маркетинг виробничо-підприємницької діяльності: Навч. посібник / За ред. проф. Перерви П. Г., проф. Гавриш О. М., проф. Погорелова М. І. – Харків : НТУ «ХПІ», 2003. – 640 с.

13. Перерва П.Г. Проблемы совершенствования методологии определения потребности в электротехнической продукции / П.Г.Перерва, А.К.Плетников // Электротехн.пром-сть. Сер.27. Общеотраслевые вопр. электропромышленности. Экономика. Организация. Управление. Планирование и производство. Обзор.информ. - М.: Информэлектро, 1989.- 52с.

14. Перерва П.Г. Самомаркетинг менеджера и бизнесмена. - Ростов н / Д: Феникс, 2003. - 592 с. (Серия «Психология бизнеса»)

15. Перерва П.Г. Управление ассортиментом продукции / П.Г.Перерва.- М.: НПО «Реклама, информация, маркетинг», 1991.- 80 с.

16. Перерва П.Г. Управление маркетингом на машиностроительном предприятии / П.Г.Перерва / Учеб.пособие для машиностроительных специальностей инж.- техн.вузов. - Харьков : «Основа», 1993. - 288с.

17. Перерва П.Г. Управление сбытом промышленной продукции в системе маркетинга.- М.: НПО «Реклама, информация, маркетинг», 1991.- 93 с.